

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Beton sering digunakan untuk konstruksi bahan bangunan. Bahan tersebut didapatkan dengan cara mencampurkan semen, air dan agregat (bisa juga ditambahkan bahan tambah yang sangat bervariasi mulai dari penambahan bahan kimia, serat, dan juga bahan bangunan non-kimia) pada komposisi yang ditentukan. Komposisi demikian jika dituangkan dalam cetakan dan dibiarkan maka akan menjadi keras seperti bebatuan. Pengerasan tersebut disebabkan adanya reaksi antara air dan semen yang terjadi pada kurun waktu yang lama dan mengakibatkan campuran tersebut akan bertambah keras sejalan dengan umur. Beton yang keras dianggap dengan batu tiruan dimana rongga-rongga antar butiran-butiran dan pori-pori antar agregat halus berisi dengan semen dan air (pasta semen). Pasta semen tersebut selain mengisi pori-pori juga memiliki sifat sebagai pengikat/ perekat pada proses pengerasan, sehingga butiran-butiran agregat akan saling terekat dengan kuat dan akan membentuk massa yang padat. **Tjokrodimulyo (1996).**

Pada penelitian yang dilakukan oleh **Anung Suwarno dan Sudarmono (2015)** dengan memanfaatkan limbah plastik sebagai bahan campuran beton dengan limbah plastik yang telah dicacah dan dihancurkan jenis LDPE (Low Density Polyethylene) dengan persentase plastik 0%, 1%, 1,5%, 2%, 2,5%, 3%, 4% dan 5%. Dari campuran yang telah direncanakan bahwa penggunaan campuran plastik 0% sampai 5% mengalami penurunan kuat tekan, yang artinya dengan semakin banyak penambahan persentase plastik akan mengurangi kuat tekan, tapi disisi lain berat sendiri beton lebih ringan.

Penelitian tentang limbah plastik juga dilakukan oleh **David Wahyu Laksono (2009)** melakukan penambahan agregat plastik sebagai pengganti agregat pasir berpengaruh terhadap kuat tekan batako. Ada beberapa hal yang menyebabkan kuat tekan batako melemah seiring dengan penambahan agregat plastik. Daya ikat

yang lemah antara agregat plastik dengan agregat lainnya sehingga terjadi gelembung-gelembung dan pori-pori yang banyak dalam ikatan tersebut, sehingga semakin besar persentase agregat plastik maka porositasnya semakin tinggi menyebabkan kuat tekan batako semakin menurun.

Menurut **Rommel (2013)** dalam penelitiannya pengujian penyerapan air dilakukan pada umur 28 hari untuk mencapai hasil yang maksimal. Dari pengujian penelitiannya diperoleh penyerapan air sebesar 8,04%, dimana beton dengan agregat plastik tersebut masuk dalam kriteria beton dengan tingkat penyerapan air yang tinggi (*high absorbtion*) dan mempunyai syarat tingkat penyerapan air lebih 5% pada beton. Dengan tingkat penyerapan yang demikian dapat diartikan tidak menguntungkan sebab bisa mempengaruhi tingkat kekuatan beton itu jika digunakan pada pemakaian di lokasi yang memiliki tingkat kelembaban tinggi.

Dalam penelitian yang dilakukan **Arief Rizqy (2014)** dengan menambahkan plastik dengan jenis HDPE dilakukan pencetakan benda uji yang terdiri akan 3 variasi yakni campuran agregat plastik buatan yang masuk dalam kategori agregat kasar zona 1, zona 2 dan zona 3. Pada setiap variasi dilakukan pengujian terhadap kuat tekan, kuat tarik belah dan penyerapan air. Dari penelitiannya diperoleh nilai berat isi rata-rata sebesar 1575 kg/m^3 yang dapat dikategorikan sebagai beton ringan dengan syarat kurang dari 1850 kg/m^3 . Sedangkan untuk hasil kuat tekan dan kuat tarik belah maksimum yang terjadi pada beton diperoleh zona yang terkuat pada zona 2 (1,9 – 4,75 mm).

Menurut **Kartini (2007)** dalam penelitiannya dilakukan pembuatan beton dengan penggunaan serat *polypropilene fiber* yang ditambahkan pada campuran beton bisa diaplikasikan karena dapat menghasilkan peningkatan terhadap kuat tarik belah yang jauh lebih baik dibandingkan dengan beton yang tidak menggunakan *polypropilene fiber*. Peningkatan kuat tarik belah yang paling maksimum didapat pada faktor air semen 0,55 adalah 2,60 Mpa yang mengalami kenaikan senilai 3,17% dengan menggunakan variasi fiber $0,9 \text{ kg/cm}^2$ dibandingkan beton tanpa *polypropilene fiber*. Sedangkan untuk kuat tarik belah yang paling maksimum pada penggunaan faktor air semen 0,35 adalah 3,49 Mpa yang

mengalami kenaikan senilai 5,76% dengan menggunakan variasi fiber 0,9 kg/m² dibandingkan beton tanpa *polypropylene fiber*.

Penggunaan bahan tambah plastik dalam campuran beton busa juga dilakukan dalam penelitian yang dilakukan oleh **Ridho (2017)** dengan variasi persentase plastik sebesar 0%, 5% dan 10% memiliki kuat tekan yang maksimum diambil pada perawatan beton umur 28 hari. Untuk variasi persentase 0% diperoleh nilai sebesar 11,73 Mpa, 5% diperoleh nilai sebesar 9,20 Mpa dan 10% diperoleh nilai sebesar 8,73. Dari hasil kuat tekan tersebut dapat dikategorikan dalam beton struktur ringan yang bisa digunakan pada struktur panel dinding dan kusen beton.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Beton Ringan

2.2.1.1 Pengertian Beton Ringan

Pengertian beton ringan adalah suatu campuran atau proses pembuatan beton yang terdiri dari semen, air dan agregat halus dengan atau tanpa bahan tambahan yang sesuai dengan kriteria agregat halus. Agregat halus yang biasa dipakai adalah pasir alam atau padir yang diperoleh dari industri penghasil batu/pemecah batu. Beton ringan saat ini banyak dipakai pada strukur bangunan karena memiliki berat yang kecil dan memiliki berat jenis kurang dari 1900 kg/m³. Dengan memiliki keunggulan berat yang ringan tersebut beton jenis ini memiliki kelebihan pada saat proses pemasangan dan pengangkutan. Sehingga memberikan beban yang lebih kecil untuk struktur yang berada dibawahnya.

Pembuatan beton ringan pada prinsipnya membuat rongga udara di dalam beton. Terdapat 3 cara untuk membuat beton aerasi. Pertama yang paling sederhana adalah memberikan campuran/agregat dengan isian beton ringan. Agregat itu dapat seperti batu apung, *sterofoam*, batu alam dan abu terbang yang dijadikan batuan. Cara yang kedua dengan menghilangkan agregat halus (agregat halusnya disaring terlebih dahulu. Misalnya membersihkan abu atau debu yang terbang). Cara ketiga meniupkan atau mengisi udara di dalam beton. Cara yang ketiga adalah dengan memberi udara atau gas pada campuran beton dengan cara mekanik ataupun dengan cara memberi kandungan kimia.

Menurut Tjokrodimulyo (1996: 117) beton bisa didefinisikan sebagai bahan yang cukup berat, yang memiliki berat sekitar 2400 kg/m^3 dan menyalurkan suhu panas. Untuk mengurangi beban mati pada suatu struktur beton atau mengurangi sifat penghantaran suhu panas maka telah banyak dibuat beton ringan. Beton dikatakan beton ringan jika memiliki berat kurang dari 1800 kg/m^2 . Pada dasarnya, beton ringan diperoleh dengan cara pemberian gelembung udara ke dalam campuran beton. Maka dari itu membuat beton ringan bisa digunakan dengan langkah-langkah seperti dibawah ini :

1. Membuat agregat ringan, seperti batu apung dan tanah liat yang dipanaskan. Jadi dengan seperti itu beton yang diperoleh akan menjadi lebih ringan daripada baton biasa,
2. Membuat gelembung udara atau gas pada adonan semen. Jadi dengan seperti itu beton akan memiliki banyak pori-pori udara atau gass di dalam beton tersebut. Serbuk Aluminium juga bisa ditambahkan ke dalam adonan semen yang kemudian dapat menyebabkan gelembung-gelembung udara atau gas.
3. Membuat campuran beton dengan atau tanpa butiran-butiran agregat halus. Beton seperti ini bisa dikatakn juga beton non pasir atau hanya terbuat dari bahan semen dan agregat kasar saja (memiliki syarat butiran maksimum agregat kasar sebesar 20 mm atau 10 mm). Dengan demikian beton tersebut memiliki pori-pori yang hampir sama. Sebagai contoh bahan untuk batuan kasar yang digunakan seperti: krikil alami atau batuan apung dan tanah liat yang diapanaskan.

Pembuatan beton ringan ada bermacam-macam jenisnya tergantung berat isinya dan juga kekuatan yang dihasilkan beton ringan tersebut. Berikut adalah macam-macam beton ringan:

1. Beton ringan yang memiliki densitas yang rendah. Penggunaan beton ini biasanya sebagai isolasi yang memiliki berat isi kuang dari 800 kg/m^3 .
2. Beton ringan yang memiliki berat jenis menengah. Penggunaan beton ini biasanya sebagai pengisi struktur bangunan, contohnya terdapat pada panel-panel dinding atau lantai yang berkekuatan ringan. Beto ini memiliki berat

isi antara 960 kg/m^3 – 1360 kg/m^3 . Untuk kekuatan tekannya antara 6,87 Mpa – 17,28 Mpa.

3. Beton ringan yang memiliki berat jenis yang tinggi atau disebut beton struktur yang memiliki berat isi sekitar 1440 kg/m^3 – 1930 kg/m^3 dan mempunyai kuat tekan yang sama seperti beton biasa.

Kelebihan beton ringan tersebut terletak pada berat isinya, sehingga beton ringan jika diaplikasikan pada gedung atau bangunan yang tinggi dapat secara nyata mengurangi berat beton itu sendiri pada gedung atau bangunan tinggi itu. Kelebihan lainnya adalah mempunyai ketahanan terhadap panas yang bagus, ketahanan terhadap suara yang cukup baik dan ketahanan pada api karena mempunyai densitas yang kecil atau rendah. Sementara untuk kekurangannya beton ringan itu sendiri adalah mempunyai nilai kuat tekan yang rendah. Jadi tidak disarankan apabila digunakan untuk bangunan gedung pada bagian struktural.

2.2.1.2 Jenis Beton Ringan

Beton ringan dapat dibagi atau dikelompokkan berdasarkan berat jenisnya, bentuk aplikasinya atau penggunaannya, agregat penyusunnya dan kuat tekan beton ringan.

Jenis Beton	Berat jenis Beton (Kg/m ³)	Pemakaian
Beton Sangat Ringan	< 1000	Non Struktur
Beton Ringan	1000 - 2000	Struktur Ringan
Beton Normal	2300 - 2500	Struktur
Beto Berat	> 3000	Perisai Sinar X

Sumber: SNI 03-3449-2002

Sementara penggolongan beton ringan berdasarkan kuat tekan, berat isi dan materi pembentuknya bisa dicermati pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.2 Jenis-jenis Beton Ringan Berdasarkan Kuat Tekan, Berat Beton dan Agregat Penyusunnya

Konstruksi Beton Ringan	Beton Ringan		Jenis Agregat Ringan
	Kuat Tekan (Mpa)	Berat Isi (Kg/m ³)	
Struktural			Agregat yang dibuat melalui proses pemanasan batu serpih, batu apung, batu sabak, terak besi atau abu terbang.
• Minimum	17.24	1400	
• Maksimum	41.36	1850	
Struktural Ringan			Agregat mangan alami seperti scoria atau batu apung
• Minimum	6.89	800	
• Maksimum	17.24	1400	
Struktur Sangat Ringan, sebagai Isolasi, Maksimum		800	Pendit atau Vermikulit

Sumber: SNI 03-3449-2002

2.2.2 Foam Concrete (Beton Busa)

2.2.2.1 Pengertian Foam Concrete (Beton Busa)

Pengertian beton busa adalah salah satu jenis beton ringan dimana dalam campuran beton itu tidak terdapat agregat kasar. Campuran pada pembuatan beton busa ini terdiri dari semen, air dan agregat halus dengan materi tambah berbentuk gelembung-gelembung busa dalam adonan beton sehingga menimbulkan banyak gas atau udara pada adukan campuran beton tersebut.

Beton busa sangat mudah dalam pengadaannya dan juga dalam hal produksinya. Dengan menghasilkan gelembung udara ataupun gas dan kemudian

dicampurkan pada adonan beton yang terdiri dari semen, air dan pasir. Selain itu, beton busa juga mempunyai keuntungan yang dapat dilihat dari material penyusunnya yang ekonomis dan muda untuk proses pembuatannya. Pembuatan gelembung-gelembung gas atau udara bisa dilakukan dengan cara berikut ini:

1. Menambahkan *foam agent* atau beton busa pada adukan campuran beton.

Pembuatan *foam agent* bertujuan untuk menjadi stabilisator untuk gelembung-gelembung. Bahan untuk membuat *foam agent* bisa didapatkan dari bahan alamia ataupun buatan. Untuk *foam agent* dari bahan alamia berasal dari protein yang mempunyai sifat padat sebesar 90 gr/ltr. Sementara untuk foam agent dari bahan buatan bisa berupa gel atau *synthetic* yang mempunyai sifat padat sebesar 50 gr/ltr. Ukuran gelembung-gelembung udara berbentuk seperti busa yang memiliki ukuran sekitar 0,1 mm – 1 mm kemudian menyebar secara menyeluruh yang membuat sifat beton itu menjadi lebih bagus untuk menghambat kedap suara ataupun panas. Salah satu bahan pembuat busa untuk campuran beton ringan adalah bahan berbasis protein *hydrolyzed* dalam adukan beton.

2. Menambahkan *gas concrete* atau beton gas ke dalam adukan campuran beton.

Pembuatan *gas concrete* ini dilakukan dengan memasukkan gas atau udara yang berupa suatu reaksi kimia ke dalam adukan beton yang masih basah, supaya saat terjadi proses pencampuran dapat menimbulkan gelembung udara ataupun gas dengan melimpah.

Pembuatan beton busa yang dilakukan dengan cara membentuk gelembung-gelembung udara atau gas dan kemudian ditambahkan dalam adukan beton dapat dikelompokkan menjadi 2 jenis yaitu:

- Beton ringan yang menggunakan bubuk kimia

Beton ringan jenis ini dapat diperoleh dengan memakai busa ataupun bubuk aluminium. Dan kemudian dapat dicampurkan ke dalam adonan beton ringan. Cetak campuran beton tersebut ke cetakan dan simpanlah selama 1 hari. Setelah di keluarkan dari cetakan, dilakukan perawatan di

dalam ruangan dalam suhu kamar. Beton jenis ini sendiri dibedakan menjadi 2 jenis sebagai berikut :

a. Pembuatan beton busa dengan cara *physical foaming*

Cara ini dilakukan dengan menambahkan gelembung-gelembung udara atau gas yang diperoleh dari pembuatan dengan bantuan alat generator. Selanjutnya campurkan *foam* atau busa tersebut ke dalam adukan beton.

b. Pembuatan beton busa dengan cara *mekanikal foaming*

Cara ini dilakukan dengan menambahkan gelembung-gelembung udara atau gas yang didapatkan dari pembuatan secara mekanik dengan bantuan *mixer*. Lakukan pencampuran dengan kecepatan yang stabil untuk mendapatkan gelembung-gelembung udara.

- Beton aerasi

Beton ringan jenis ini dapat dibentuk dari campuran pasta semen, pasir dan kapur. Setelah tercampur lalu dimasukkan *foam agent*, dan lakukan pengadukan secara merata. Cetak campuran beton tersebut ke cetakan dan simpanlah selama 1 hari. Setelah di keluarkan dari cetakan, dilakukan perawatan di dalam ruangan dalam kondisi jenuh.

Pada penelitian kali ini dalam pembuatan busa dilakukan dengan cara *mekanikal foaming*. Dengan mendapatkan gelembung-gelembung udara dengan alat berupa *mixer*. Hal ini dikarenakan keterbatasan peralatan pembuatan beton busa yang ada di Laboratorium.

2.2.2.2 Kelebihan dan Kekurangan Beton Busa

Penggunaan beton busa memiliki kelebihan dalam penggunaanya, antara lain:

- Memiliki berat jenis yang ringan.
- Memiliki ketahanan akan panas, karena mempunyai berat jenis yang ringan.
- Dapat diproduksi secara mudah sesuai keinginan.

- Dapat diproduksi langsung di lapangan.
- Dapat mempermudah proses konstruksi.
- Memiliki tingkat kedap suara yang baik.
- Tidak memerlukan vibrator pada saat proses pemadatan,
- Ramah lingkungan.

Selain mempunyai kelebihan, beton busa juga memiliki kekurangan dalam penggunaannya, antara lain:

- Mempunyai kekuatan yang terbatas, jadi dalam proses penggunaannya hanya digunakan untuk bagian non struktural, seperti pada panel dinding atau kusen beton.
- Mempunyai harga yang sedikit lebih mahal dibandingkan dengan beton biasa.

2.2.2.3 Karakteristik Beton Busa

Pembuatan beton busa dilakukan dengan menciptakan gelembung udara atau gas dan kemudian dicampurkan ke dalam adukan beton. Gelembung udara dalam beton busa selanjutnya akan terlihat seperti rongga-rongga di dalam beton ringan. Rongga udara yang terbentuk dari beton busa ini bertujuan untuk mengurangi densitas pada beton busa. Hal ini terjadi akibat terdapat suatu reaksi kimia yang diperoleh dari udara yang berada di dalam beton ringan tersebut.

Bahan yang digunakan dalam proses pembuatan beton busa adalah gelembung-gelembung udara atau gas yang dihasilkan dari *foam gent* yang bertujuan untuk mrngurangi massa jenis (densitas) beton. Beton busa dapat dikategorikan sebagai mortar karena bahan penyusunnya terdiri dari semen, pasir, air dan ditambahkan busa yang diperoleh dari pencampuran *foam agent* dan air dengan perbandingan 1 : 20. Beton busa dikategorikan sebagai mortar karea tidak menggunakan bahan penyusun berupa agregat kasar. Udara yang tertangkap dalam beton busa yang diakibatkan oleh reaksi kimia dapat mengurangi berat jenis beton sehingga menjadi lebih rendah.

Ditinjau dari segi material penyusunnya yaitu semen, air dan pasir, beton busa dapat dikategorikan sebagai mortar, yang disebabkan oleh beton busa tidak

menggunakan agregat ringan melainkan diberikan campuran *foam* atau busa pada adukan mortarnya. Sifat fisik beton busa memiliki keterkaitan yang erat dengan nilai densitas ($300 \text{ kg/m}^3 - 1800 \text{ kg/m}^3$). Dalam proses pembuatan dan perawatan, metode pembuatan dan proporsi campuran dapat mempengaruhi sifat fisik dan mekanik beton busa.

2.2.2.4 Aplikasi (Penggunaan) Beton Busa

Penggunaan beton busa sangat terbatas pada bagian bangunan non struktural. Berikut adalah contoh aplikasi atau penggunaan beton busa, antara lain:

1. Dinding Panel

Penggunaan pada panel dinding biasanya digunakan sebagai pengganti dinding atau tembok partisi.

2. Kusen Beton

3. Ornamen Khusus

4. Campuran Pengisi Ready Mix

2.2.3 Bahan Pembuat Beton Busa Limbah Plastik

Beton busa adalah suatu elemen struktur yang mempunyai karakteristik yang terdiri dari beberapa bahan penyusun beton busa, antara lain sebagai berikut:

2.2.3.1 Semen (*Portland Cement*)

Semen (*Portland Cement*) pertama ditemukan oleh seorang pekerja tukang batu asal negara Inggris yang bernama Joseph Aspdin pada tahun 1824. Dinamakan semen (*portland cement*) dikarenakan berawal dari semen yang dihasilkan memiliki warna yang sama pada tanah liat alami yang berada di Pulau Portland. Semen (*portland cement*) diproduksi untuk pertama kalinya di sebuah pabrik di Amerika Serikat di kota *Cosplay Pannsylvania* pada tahun 1875 oleh pekerja bernama David Saylor. Dan kemudian terus mengalami perkembangan yang sangat pesat hingga sampai sekarang.

Semen *portland* adalah semen hidrolik yang diperoleh dengan cara menghaluskan *klinker* yang terdiri atas silika-silika kalsium yang memiliki sifat hidrolik dengan gipsum sebagai bahan tambah (PUBI-1982).

Menurut **Mulyono (2004)**, semen berfungsi untuk mengikat butiran-butiran agregat sampai membentuk satu massa padat dan mengisi sela-sela rongga udara diantara butiran agregat tersebut. Komposisi semen dalam beton berkisar 10%, tetapi karena memiliki fungsi untuk mengikat, maka fungsi semen begitu sangat penting.

Semen *portland* diproduksi melalui banyak tahapan, sehingga berbentuk halus dan mempunyai sifat *adhesif* maupun *kohesif*. Semen diperoleh dengan membakar karbonat atau batu gamping dan *argillaceous* (memiliki kandungan aluminium) dengan perbandingan tertentu. Bahan itu dicampur dan dibakar dengan suhu 1400° C - 1500° C. Kemudian itu didinginkan dan dihaluskan sampai menjadi seperti bubuk yang halus. Kemudian ditambahkan gipsum atau kalsium sulfat (CaSO_4) sebesar 2% - 4% untuk bahan pengontrol waktu pengikatan. Dapat juga ditambahkan bahan lainnya guna membentuk semen khusus contohnya kalsium klorida untuk menjadikan semen yang cepat menjadi keras. Semen ini biasanya dikemas pada wadah atau kantong seberat 40 kg dan 50 kg. (**Sutikno, 2003**).

Semen portland yang banyak digunakan di Indonesia harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Telah banyak pabrik produksi semen portland yang ada di Indonesia, diantaranya:

1. Pabrik Semen Gresik.
2. Pabrik Semen Cibinong.
3. Pabrik Semen Tiga Roda.
4. Pabrik Semen Holcim.
5. Pabrik Semen Indarung, Padang.
6. Pabrik Semen Baturaja.
7. Pabrik Semen Tonasa di Sulawesi.

Menurut **Tjokrodimulyo (2007: 5)** semen portland adalah sebagai bahan pengikat yang begitu penting dan banyak digunakan dalam pembangunan. Semen portland berfungsi untuk merekatkan butiran-butiran agregat supaya terjadi suatu

masa yang padat. Dan juga, semen berguna untuk mengisi rongga-rongga yang ada diantara butiran-butiran agregat meskipun hanya dapat mengisi sekitar 10% dari volume beton tersebut.

Bahan-bahan yang menghasilkan semen portland terdiri dari bahan-bahan yang memiliki kandungan unsur-unsur kimia, seperti tercantum dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Susunan Unsur Semen Biasa

Oksida	Persen
Kapur, CaO	60 – 65
Silika, SiO ₂	17 – 25
Alumina, Al ₂ O ₃	3 – 8
Besi, Fe ₂ O ₃	0,5 – 6
Magnesia, MgO	0,5 – 4
Sulfur, SO ₃	1 – 2
Soda/potash, Na ₂ O + K ₂ O	0,5 - 1

Sumber: Astanto, 2001:21

Secara umum, terdapat 4 unsur kimia yang penting dalam menyusun semen portland, diantaranya sebagai berikut:

1. Trikalsium Silikat (C₃S) atau 3CaO.SiO₂
2. Dikalsium Silikat(C₂S) atau 2CaO.SiO₂
3. Trikalsium Aluminat (C₃A) atau 3CaO.Al₂O₃
4. Tetra kalsium Aluminoforit (C₄AF) atau 4CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃

Dua unsur kimia yang paling dominan pada penyusunan semn *portland* adalah (C₃S dan C₂S) besarnya sekitar 70% hingga 80%.

Menurut Tjokrodinuljo (2007:11) mengatakan bahwa berdasarkan dengan tujuan pemakaiannya, semen portland dibedakan menjadi 5 jenis, yakni sebagai berikut:

- Jenis I
Portland Cement untuk penggunaan kontruksi umum, tidak membutuhkan syarat khusus, seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis semen portland yang lainnya.
- Jenis II
Portland Cement untuk penggunaan yang membutuhkan ketahanan terhadap panas dan sulfat hidrasi yang cukup.
- Jenis III
Portland Cement untuk penggunaan yang membutuhkan syarat khusus untuk kekuatan awal yang tinggi.
- Jenis IV
Portland Cement untuk penggunaan yang membutuhkan syarat untuk ketahanan panas hidrasi yang lemah.
- Jenis V
Portland Cement untuk penggunaan yang membutuhkan syarat untuk tahan pada sulfat.

2.2.3.2 Hidrasi *Portland Cement*

Menurut **Tjokrodimulyo (1996: 7)** mengatakan jika semen bercampur dengan air akan terjadi suatu hidrasi, saat arah ke luar dan juga ke dalam, artinya hasil hidrasi terendap di bagian luar dan semen yang belum terhidrasi di bagian dalam secara bertahap terhidrasi yang akan menimbulkan volume menjadi kecil. Kejadian ini berlangsung lambat, sekitar 2 jam - 5 jam (yang disebut induksi atau nonaktif) sebelum mengalami percepatan sesudah kulit permukaan terpecah.

Hasil utama dari kejadian hidrasi semen portland adalah $C_3S_2H_3$ yang biasa disebut “*tobermorite*”, yang berjenis seperti gel. Panas juga keluar selama proses hidrasi terjadi. Beberapa butiran yang bersifat seperti kristal terlihat juga di dalam “*tobermorite*”. Jika dimungkinkan, penambahan air masih dibutuhkan oleh bagian dalam dari butiran-butiran semen (terutama yang berbentuk besar), untuk menyempurnakan proses hidrasi berlangsung.

2.2.2.3 Waktu Ikat Semen

Menurut Tjokrodimulyo (1996: 9) bahwa waktu ikat semen adalah waktu yang diperlukan semen untuk dapat mengeras. Mulai dari bereaksi akibat air (membentuk seperti gel) dan menjadi kaku untuk menahan suatu tekanan. Waktu saat pencampuran ini sampai saat kehilangan sifat keplastisannya disebut waktu ikatan awal (*initial time*). Sementara untuk waktu antara proses terbentuk pasta semen sampai menjadi suatu beton yang mengeras dinamakan waktu ikat akhir (*final setting time*). Pada semen *portland* yang ada, waktu ikatan awal tidak boleh kurang dari 1 jam dan waktu ikat akhir tidak melebihi dari 8 jam.

Kebutuhan waktu ikat awal sangat berpengaruh pada pekerjaan beton. Waktu ikatan awal yang cukup lama dibutuhkan untuk pekerjaan beton yaitu waktu transportasi, penuangan, pemadatan, dan perataan permukaan. Proses ikatan tersebut diikuti dengan berubahnya temperatur. Temperatur akan naik dengan cepat dari ikatan awal dan mencapai puncak pada saat selesainya ikatan akhir. Waktu ikatan yang pendek kenaikan temperatur sampai 30° C. Dalam prosesnya lama waktu ikatan ini dikarenakan oleh jumlah air campuran yang dipakai dan suhu udara yang ada di sekitar.

2.2.3.3 Water (Air)

Air menjadi salah satu bahan yang sangat penting pada proses pembuatan beton. Hal ini disebabkan untuk menentukan mutu pada campuran beton. Air diperlukan pada campuran beton juga karena berpengaruh pada sifat pembuatan beton (*workability*). Air pada campuran beton berfungsi untuk membantu reaksi kimia semen portland dan juga untuk bahan pelicin antara semen dan agregat agar mudah dalam proses pengerjaannya.

Air sebagai bahan utama dalam pencetakan beton yang sangat berpengaruh tetapi harganya sangat murah. Air yang dipergunakan pada campuran beton biasanya sama dengan air yang dipakai untuk minum. Untuk menghasilkan beton yang berkekuatan lebih dari 90 persen biasanya dipergunakan air suling.

Dalam prosesnya biasanya fas yang dipergunakan adalah lebih dari 0,35, sementara kelebihan air sebesar 25% nya dipergunakan untuk pelumas. Tetapi,

kelebihan air pada adukan bisa berbahaya karena air dengan semen akan bergerak ke permukaan adukan beton, proses ini sering disebut sebagai *bleeding*. Air yang digunakan jika mengandung kotoran maka dapat mempengaruhi proses waktu ikatan awal pada adukan beton yang membuat lemahnya kekuatan beton setelah mengeras dan dapat menurunkan daya tahan beton (Tjokroadimulyo, 2007).

a. Sumber- Sumber Air

Dalam proses pembuatan beton air yang digunakan diambil dari berbagai sumber yang ada. Tetapi dari berbagai sumber itu, ada yang bisa digunakan pada pencampuran beton dan ada juga yang tidak bisa digunakan. Berikut adalah berbagai air yang tidak bisa digunakan untuk pada proses pembuatan beton, antara lain :

- Air Laut

Adalah air yang berasal dari laut dan mengandung 2,5% garam. Kandungan garam itu bisa menyebabkan korosi yang bisa membuat kekuatan beton menurun atau rendah. Jadi penggunaan air laut tidak bisa dipergunakan untuk proses pencampuran beton.

- Air Hasil Pembuangan Industri

Adalah air yang mengandung asam dan alkali yang bisa menghambat ikatan awal pada proses pengadukan beton.

- Air Genangan atau Permukaan

Contohnya adalah air sungai, air danau dan situ. Air permukaan ini tidak bisa dipergunakan untuk bahan campuran beton, terkecuali sudah melalui proses pengujian kualitas air sebelumnya.

b. Persyaratan Umum Air

Air yang digunakan pada proses campuran beton minimal memenuhi persyaratan air minimum, tetapi tidak berarti air yang digunakan dalam campuran beton harus memenuhi standar persyaratan air minum. Pemakaian air untuk proses campuran beton sebaiknya memenuhi persyaratan diantaranya (Tjokroadimulyo, 2007) :

- Air yang digunakan harus bersih.

- Air tidak terdapat kandungan lumpur, minyak dan benda melayang melebihi 2 gram/ liter.
- Air tidak terdapat kandungan garam yang bisa larut dan dapat merusak beton (asam, zat organik) melebihi 15 gram/ liter.
- Air tidak terdapat kandungan *clhoryda* (Cl) melebihi 0,5 gram/ liter.
- Air tidak terdapat kandungan senyawa sulfat melebihi 1 gram/ liter.

c. Pemilihan Air Pada Campuran Beton

Air yang dipergunakan untuk campuran beton baiknya air yang sudah mengalami proses pengujian sebelumnya. Bila air yang dipakai diperoleh dari sumber yang belum terbukti memenuhi persyaratan, sebaiknya dilakukan uji tekan mortar yang dibuat dengan menggunakan air tersebut dan selanjutnya dibandingkan dengan campuran mortar yang memakai air hasil suling. Data uji kubus tersebut dilakukan saat beton berumur 7 dan 28 hari dan adukan dibuat dengan air campuran yang tidak dapat diminum paling tidak harus mencapai 90% dari kekuatan air serupa yang dibuat dengan air yang bisa diminum. Untuk perawatan dan pembuatan beton, air yang dipergunakan juga tidak boleh mengandung minyak, asam alkali, garam, bahan organik dan bahan lain yang dapat merusak beton dan tulangnya sehingga mengurangi kualitas beton tersebut.

2.2.3.4 Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan adalah pasir. Persyaratan agregat halus yang digunakan yang lolos saringan no. 4 atau lebih kecil dari 5 mm atau 3/6 inci. Butiran agregat untuk pasir biasanya berkisar antara 0,15 mm dan 5 mm.

Pasir biasanya terbentuk atau terbuat dari pecahan batu yang disebabkan oleh kejadian alami atau lainnya. Berikut pengelompokkan pasir antara lain :

- Pasir dari Galian
Pasir ini didapatkan dari proses penggalian atau permukaan tanah yang memiliki butiran atau tekstur yang tajam dan bebas dari kandungan garam. Tapi harus dilakukan pembersihan dahulu dari kotoran tanah atau lainnya.

- Pasir dari Sungai

Pasir ini didapatkan langsung dari dalam dasar sungai yang memiliki butiran atau tekstur yang bulat dan halus akibat proses gesekan di dalam sungai. Gaya ikat antara butiran kurang baik dikarenakan berbentuk bulat, biasanya pasir jenis ini dipakai untuk proses penghalusan atau plesteran dinding.

- Pasir dari Laut

Pasir ini didapatkan dari laut ataupun pantai. Pasir jenis ini adalah pasir yang jelek dikarenakan banyak mengandung garam yang dapat menyebabkan pasir akan selalu basah. Selain itu juga mengakibatkan pengembangan pada struktur bangunan. Sehingga pasir laut tidak direkomendasikan untuk dipergunakan.

a) Jenis Pasir Berdasarkan Gradasi

Agregat pasir atau ukuran butiran memiliki gradasi yang sangat berpengaruh. Butiran agregat memiliki ukuran yang seragam yang akan mempengaruhi peningkatan volume pori. Namun, jika ukuran butiran agregat tersebut tidak seragam maka volume pori akan mengecil. Hal ini disebabkan oleh butiran yang tidak seragam akan mengisi pori antara butiran, sehingga menyebabkan pemampatan yang tinggi akibat pori-porinya menjadi lebih sedikit. Secara teoritis gradasi agregat yang baik adalah yang memiliki kemampatan tinggi.

Dalam buku Tjokrodimulyo (2007) cara yang digunakan untuk membedakan jenis agregat paling banyak adalah didasarkan pada ukuran butiran tersebut. Agregat yang memiliki ukuran butiran yang besar disebut agregat kasar dan sebaliknya jika agregat memiliki ukuran butiran yang kecil disebut agregat halus. Pada Tabel 2.4 dapat dilihat pengelompokkan pasir berdasarkan gradasinya.

Tabel 2.4 Gradasi Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Butir yang Lewat Ayakan			
	Daerah I (Pasir Kasar)	Daerah II (Pasir Agak Kasar)	Daerah III (Pasir Agak Halus)	Daerah IV (Pasir Halus)
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: Tjokrodinuljo, 1996:21

b) Persyaratan Agregat

Pasir biasanya digunakan dalam bahan komposisi agregat halus. Dari jenisnya pasir yang digunakan bisa berupa pasir alami maupun pasir buatan (olahan). Agregat halus dapat digunakan apabila memenuhi persyaratan yang telah diisyaratkan.

Menurut standar SK SNI S-04-1989-F, persyaratan untuk agregat halus diantaranya :

1. Kandungan lumpur atau butiran memiliki syarat lebih kecil dari 75 mikon atau lolos saringan no. 200, yang memiliki berat maksimum sebagai berikut:
 - Beton yang mengalami abrasi yaitu sebesar 3 %
 - Beton lainnya yaitu sebesar 5 %
2. Kandungan gumpalan tanah liat dan material yang mudah dikeluarkan maksimal sebesar 3 %
3. Kadar arang
 - Jika beton di ekspose, max = 0,5%

- Beton lainnya, max = 1 %
4. Harus bebas dari kotoran zat organik. Pengujian ini dilakukan dengan cara melarutkan Na Sulfat dan kemudian dibandingkan dengan warna pembanding. Apabila memiliki warna yang lebih tua, agregat halus tersebut tidak bisa digunakan. Berikut pengecualiannya :
 - Ditimbulkan akibat terdapat lignit, arang atau jenis lainnya
 - Dilakukan pengujian perbandingan antara kuat tekan mortar. Tidak boleh kurang dari 95 % dari kekuatan tekan mortar dengan menggunakan pasir biasa atau standar.
 5. Memiliki persyaratan atau batasan ukuran butiran seperti pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Gradasi Agregat Halus

Ukuran Lubang Ayakan (mm)	Persen Lolos Kumulatif (%)
9.50	100
4.75	95 - 100
2.36	80 - 100
1.18	50 - 85
0.60	25 - 60
0.30	10 - 30
15	2 - 10

Sumber: Nurlina, 2011:76

6. Memiliki sifat yang kekal, jika di uji dalam larutan yang mengandung asam sulfat
 - Apabila menggunakan Natrium Sulfat, hancur maksimum sebesar 10 %.
 - Apabila menggunakan Magnesium Sulfat, hancur maksimum sebesar 15%.

2.2.3.6 *Foam Agent* (Bahan Tambah)

Bahan tambah yang digunakan dalam penelitian adalah *foam agent*. *Foam agent* merupakan suatu larutan yang pekat dari bahan surfaktan, dimana apabila jika digunakan atau diproses harus dilarutkan ke dalam air yang berupa air *koloid*. *Foam agent* tersebut kemudian dicampur dengan menggunakan alat berupa *mixer* yang akan menghasilkan gelembung udara atau gas yang kemudian dicampurkan pada adukan campuran beton atau mortar. Pada pembuatan beton busa, rasio yang digunakan *foam agent* : air adalah 1 : 20.

Foam agent berfungsi sebagai bahan tambah dalam pembuatan beton busa. *Foam agent* merupakan zat yang mampu memperbesar volume bata beton ringan tanpa menambahkan berat dari bata beton ringan itu sendiri. Bahan pembentuk *foam agent* terdiri dari dua macam, yaitu buatan dan alami.

Pada penelitian kali ini jenis *foam agent* yang digunakan merupakan dari larutan Hidrogen Peroksida (H_2O_2). Larutan H_2O_2 akan bereaksi dengan CaO yang terdapat dari semen akan menghasilkan gas. Jika digunakan Hidrogen Peroksida (H_2O_2) gas yang dihasilkan adalah Oksigen (O_2).

Reaksi kimia yang terjadi :



Foam agent sendiri digolongkan menjadi 2 tipe yaitu :

1. Tipe Sintetik

Mempunyai kepadatan sebesar 40 gram/liter yang berasal dari bahan kimia buatan yang murni. Penggunaan *foam agent* sintetik untuk mendapatkan nilai berat jenis lebih dari 1000 kg/m^3 . Gelembung udara atau gas yang dihasilkan oleh *foam agent* sintetik memiliki karakteristik yang lebih halus jika dibandingkan dengan *foam agent* protein.

2. Tipe Protein

Mempunyai kepadatan sebesar 80 gram/liter yang berasal dari protein hewani (tulang, gading, tanduk). Penggunaan *foam agent* protein untuk mendapatkan berat jenis berkisar antara 400 kg/m^3 sampai 1600 kg/m^3 .

Penambahan *foam agent* kedalam adukan pencampuran beton segar dapat memperoleh karakteristik materi yang mempunyai rongga udara yang memiliki ukuran berkisar antara 0,1 mm – 1 mm yang merata pada beton. Hal ini menjadikan beton memiliki sifat yang bisa untuk menghambat suhu tinggi (panas) dan memiliki tingkat kedap terhadap air yang baik.

Penambahan *foam agent* kedalam adukan campuran beton mempunyai kekurangan dan keuntungan. Berikut adalah kekurangan dan keuntungannya :

- Keuntungan dari penambahan *foam agent* kedalam adukan beton, yaitu dapat menghasilkan karakteristik material dinding dengan kerapatan yang rendah yang dapat digunakan sebagai dinding insulasi termal, mampu mengurangi nilai densitas dari beton ringan, dan lain sebagainya.
- Kekurangan dari penambahan *foam agent* pada campuran adukan beton, yaitu akan mengurangi kekuatan tekan pada beton yang disebabkan karena didalam campuran terdapat banyak gelembung yang akan menjadi pori-pori pada beton, sehingga dalam pembuatan beton busa perlu adanya penambahan bahan lain yang dapat mengisi pori-pori tersebut dan untuk meningkatkan kekuatan tekannya.

2.2.3.7 Plastik

Plastik merupakan bahan pengganti sebagian pasir. Plastik yang di gunakan dalam penelitian ini berbentuk butiran dengan jenis plastik LDPE (Low Density Polyethylene). Plastik berjenis LDPE adalah plastik yang terbuat dari minyak bumi dengan rumus molekul ($-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$) dan dapat diubah bentuknya ketika diberikan suhu yang panas. Plastik LDPE ini termasuk memiliki kriteria resin yang kuat dan tidak mudah bereaksi terhadap pada zat kimia. Umumnya plastik LDPE ini memiliki tingkat resesnsi yang baik dan juga tidak mudah untuk larut saat suhu pada rungan karena memiliki material kristal.

Plastik LDPE mempunyai nilai berat jenis antara $0,91 \text{ g/cm}^3$ - $0,94 \text{ g/cm}^3$. Plastik jenis ini juga mempunyai kekuatan antara bagiannya dan juga kekuatan tensi

yang rendah. Plastik LDPE biasa digunakan untuk botol (tempat minuman), tempat makanan, sawah, perkebunan dan konstruksi pada gedung.

Tabel 2.6 Sifat Fisika Plastik LDPE

Sifat	LDPE
Berat Jenis (G/Cm ³)	0,912 – 0,94
Kristalinitas (%)	50 – 70
Leleh (°C)	98 – 120
Daya Tarik (Mpa)	15,2 – 78,6
Modulus Tarik (Mpa)	55,1 – 172
Elastis (%)	150 – 600
Dampak Kekuatan (Fb-Lb/In)	716
Suhu Panas Lendutan (°c At 66 Psi)	38 – 49

Sumber: Material Safety Data Sheet Polyethylene

Tujuan penambahan plastik sebagai bahan penggantian sebagian pasir kedalam adonan beton adalah untuk mendapat berat jenis yang rendah dan juga mendapatkan kuat tekan sesuai yang disyaratkan.

2.2.4 Pembuatan dan Perawatan Beton

2.2.4.1 Pembuatan Beton

Dalam pembuatan beton adapun hal-hal yang perlu diperhatikan. Adapun proses pembuatan beton adalah:

a) Penakaran (Penimbangan) Bahan Penyusun Beton (*Measuring*)

Dapat dilakukan dengan cara perbandingan berat (*metric*) atau dengan perbandingan volume (*volumetric*). Pada pekerjaan dilapangan lebih mudah dilakukan dengan cara *volumetric*.

b) Pengadukan Beton (*Mixing*)

Pengadukan merupakan tahapan mencampurkan bahan dasar penyusun beton busa (pasir, semen, foam agent, plastik dan air) dengan perbandingan tertentu. Pengadukan dapat dilakukan dengan tangan (cetok) atau volume

pekerjaan yang kecil. Sementara untuk volume yang besar dapat menggunakan mesin molen.

c) Pengecoran (Penuangan Adukan Beton)

Dalam proses pengecoran perlu dilakukan secara *continue*. Hal ini dilakukan supaya mendapatkan kualitas beton yang sama dan tidak mengalami segregasi (pemisahan agregat karena adanya perbedaan kecepatan pada saat penuangan adukan). Ada beberapa hal-hal yang perlu diperhatikan selama penuangan dan pemadatan berlangsung, yaitu sebagai berikut:

1. Pada saat proses pengadukan atau pencampuran harus dilakukan secara *continue* dan tidak boleh terputus.
2. Alat cetak benda uji harus diolesi pelumas terlebih dahulu supaya memudahkan dalam proses pelepasan beton pada cetakan.
3. Perhatikan jarak penuangan beton segar ke dalam benda uji. Tidak boleh melebihi 1 meter, hal ini dilakukan supaya komposisi pada campuran beton tetap utuh.
4. Hindari proses pengecoran pada saat turun hujan karena akan mempengaruhi tingkat kekuatan beton.
5. Pada saat proses penuangan dilakukan sebanyak 3 lapisan sesuai persyaratan yang ditentukan.
6. Lakukan pengawasan pada pengecoran agar beton yang masih basah tidak rusak.

d) Pemadatan Beton (*Compacting*)

Proses ini dilakukan supaya didapatkan beton yang benar-benar padat, tetap *homogeny* dan semua pori-pori terisi. Pemadatan dapat dilakukan dengan cara manual (menggunakan batang tulangan atau bambu dengan cara menusuk-nusuk) atau dengan cara mekanik dengan menggunakan alat penggetar (*vibrator*). Ada dua macam alat penggetar (*vibrator*), yaitu sebagai berikut:

1. Alat getar dalam (*internal vibrator*)

Berupa tongkat yang dijalankan dengan mesin dan kemudian dimasukkan dalam beton yang masih segar.

2. Alat getar luar (*external vibrator*)

Berupa alat getar yang ditempelkan dibagian luar bekisting dengan tujuan bekisting bergetar dan beton segar didalamnya juga bergetar sehingga dapat menjadikan beton padat.

e) Pekerjaan Perataan

Pekerjaan perataan merupakan proses pengerjaan setelah proses penuangan dan pemadatan beton selesai dilakukan. Hal ini dilakukan agar permukaan beton menjadi rata dan terlihat bagus, alat yang digunakan biasanya berupa cetok.

2.2.4.2 Proses *Curing* (Perawatan Beton)

Proses perawatan beton dilakukan supaya beton berada dalam kondisi baik sampai dimana kondisi beton masuk dalam kriteria sebelum dilepaskan dari cetakan. Ada dua cara perawatan beton, yaitu sebagai berikut :

1. Perawatan normal, merupakan perawatan yang dilakukan dengan cara:
 - Meletakkan beton segar di dalam suatu ruangan dengan suhu yang baik.
 - Meletakkan beton segar di dalam permukaan air.
 - Menyelimuti permukaan beton dengan penutup atau karung yang lembab.
 - Melakukan penyiraman secara teratur pada permukaan beton.
2. Perawatan dipercepat, merupakan perawatan beton yang dilakukan dengan cara:
 - Melakukan penutupan pada permukaan beton dengan isolasi (*poluretere shet*)
 - Menyimpan beton dalam suhu ruangan sekitar 55°C
 - Memberikan aliran listrik pada beton bertulang.
 - Memberikan penguapan air pada beton.

2.2.5 Pengujian Beton Busa Ringan

2.2.5.1 Berat Jenis Beton

Berat jenis merupakan bentuk pengujian yang penting untuk diketahui pengujiannya pada struktur beton ringan. Berat jenis yang memiliki nilai yang rendah dapat diindikasikan beton ringan sudah mencapai berat yang dicapai atau diinginkan. Pengertian berat jenis yaitu berat suatu benda tiap satuan volume. Berat merupakan gaya dan mempunyai arah. Berat suatu benda dapat dikarenakan oleh masa benda dan kecepatan gravitasinya yang mempengaruhi. Berat jenis (specific gravity) adalah perbandingan berat benda tersebut terhadap volumenya yang dihitung menggunakan rumus :

$$B_j = w / V$$

Dimana:

- BJ : Berat benda dengan nilai
 w : Massa x percepatan gravitasi = $m \times g$
 V : Volume benda

Pengelompokkan beton dapat dilihat berdasarkan berat jenis beton, seperti terlihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Jenis-jenis Beton Berdasarkan Berat Jenis dan Pemakaiannya

Jenis Beton	Berat Jenis Beton (kg/m ³)	Pemakaian
Beton sangat ringan	<1000	Non struktur
Beton ringan	1000-2000	Struktur ringan
Beton normal	2300-2500	Struktur
Beton berat	>3000	Perisai sinar X

Sumber: SNI 03-3449-2002

2.2.5.2 Porosity (Porositas Beton)

Porositas beton merupakan besarnya prosentase ruang kosong atau besarnya kadar pori yang terdapat pada beton. Pori-pori beton biasanya berisi udara atau air yang saling terhubung dan dinamakan dengan kapiler beton. Kapiler beton akan

tetap ada meskipun air yang dipergunakan telah menguap, sehingga kapiler ini dapat mengurangi kepadatan beton yang diperoleh. Dengan bertambahnya volume pori maka nilai porositas juga akan semakin meningkat dan hal ini memberikan pengaruh buruk terhadap kekuatan beton.

Menurut Murdock dan Brook (1991) Beton memiliki karakteristik yang cenderung terdiri dari rongga yang dipengaruhi oleh gelembung udara atau gas yang terjadi selama proses pencetakan beton. Penentuan besarnya nilai porositas beton dapat dilakukan dengan dengan beberapa cara, diantara lain :

- a) Pengujian dari data log pengaliran listrik atau radioaktif
- b) Pengujian dari data log kecepatan pada saat pengecoran
- c) Pengujian dengan memberi aliran atau perawatan pada benda uji

Adapun rumus yang digunakan adalah :

$$\text{Porositas} = \frac{B-C}{B-A} \cdot 100 \%$$

Dimana:

- A = berat sampel dalam air, W water (gram)
 B = berat sampel kondisi SSD, W saturation (gram)
 C = berat sampel kering oven, W dry (gram)

Besarnya porositas itu ditentukan dengan berbagai cara, yaitu;

1. Di laboratorium
2. Dari log listrik, log sonic, dan log radioaktif.
3. Dari log kecepatan pengeboran.
4. Dari pemeriksaan secara mikroskopi.
5. Dari hilangnya inti pemboran

Penentuan yang dipergunakan untuk skala nilai porositas pada beton (SNI 03-0349-1989):

- 1) 0% – 5% dikategorikan dapat diabaikan.
- 2) 5% – 10% dikategorikan kondisi buruk.
- 3) 10% – 15% dikategorikan kondisi cukup.

- 4) 15% – 20 % dikategorikan kondisi baik.
- 5) 20% – 25% dikategorikan kondisi sangat baik.
- 6) 25% dikategorikan kondisi istimewa.

2.2.5.3 Penyerapan Air

Penyerapan air (*absorpsi*) adalah salah satu pengujian yang dapat dijadikan tolak ukur dari segi keawetan beton. Absorpsi beton memiliki nilai yang maksimal ketika mencapai umur 28 hari sesuai yang disyaratkan. Beton yang memiliki nilai penyerapan air yang besar kurang awet dibandingkan dengan beton yang memiliki nilai penyerapan air yang kecil. Adapun cara menghitung nilai penyerapan air adalah sebagai berikut :

$$\text{Absorpsi beton} = \left(\frac{(W_w - W_d)}{W_d} \right) \times 100\%$$

Dimana:

W_w = Berat sampel basah

W_d = Berat sampel kering

Nilai penyerapan air (absorpsi) pada beton ini dapat dikategorikan menjadi 3, antara lain :

1. Low Absorption : Memiliki nilai kurang dari 3%
2. Average Absorption : Memiliki nilai antara 3% sampai 5%
3. High Absorption : Memiliki nilai lebih dari 5%